

# 浙江淳安县陈家坞一带铅锌矿地质特征及找矿前景

柴重阳<sup>1</sup>, 马浩<sup>1</sup>, 柴银红<sup>2</sup>, 何镇<sup>1</sup>

(1. 河南省地质科学研究所, 郑州 450001; 2. 河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院, 郑州 450001)

**摘要:**淳安县陈家坞铅锌矿位于黄石潭钨锡铅锌银成矿远景区, 成矿地质背景优越。为探明工作区内地质成矿条件及矿化特征, 本次工作在商业性合作的基础上完成了大比例尺的物化探综合剖面测量。在分析区内Pb、Zn、Cu主成矿元素异常及综合化探异常等地质成果的基础上由浅及深开展了系统探矿工作, 新发现多条铅锌矿体。矿体呈似层状产出, 赋矿层位为荷塘组二段, 层控、构造控矿特征较为明显。

**关键词:**找矿前景; 黄石潭岩体; 铅锌矿; 陈家坞

**中图分类号:** P618.42; P618.43

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-4135(2019)03-0202-06

浙江淳安县陈家坞铅锌矿位于威坪镇北部陈家坞-大亩山尖一带, 区域上处于软杭成矿带北东段。工作区已完成了1/20万<sup>①</sup>、1/5万<sup>②</sup>区域地质调查, 朱安庆<sup>[1]</sup>等对区域成矿规律做了系统的总结, 区域地质资料丰富。区内基础地质工作主要完成于上世纪八、九十年代, 工作程度相对较高, 但限于时代、技术水平, 探矿深度多局限于地表至地下300 m的空间, 探矿成果相对较少, 近年来仅在银山地区通过电法、重力、磁法等物探手段与钻探相结合方式发现银山中型银铅锌多金属矿床<sup>[2]</sup>。总体而言区域上已发现矿床数相对较少, 尚存众多矿(化)点有待验证。

本次工作在1/2 000岩石化探剖面测量的基础上圈定了Pb、Zn、Cu异常区, 异常初步查证与区内构造蚀变带、物探较低阻异常区空间位置上较吻合, 结合探槽、硃探、钻探等探矿工程发现铅锌矿体3处。通过对矿石类型、赋存层位、控制因素的分析研究, 总结了区内成矿规律及找矿标志, 可为区域上探矿工作提供新的思路。以地、物、化手段的综合运用及评价为基础, 选择成矿靶区进行深部含矿地质体定位及钻探验证的探矿模式可为相邻地区探矿工作及区域上矿(化)点深部验证提供一定参考。

收稿日期: 2019-05-21

资助项目: 河南省地质科学研究所项目“浙江省淳安县王阜乡何包山村车曹坞铅锌矿普查(T33120080302004782)”

作者简介: 柴重阳(1988-), 男, 本科, 助理工程师, 中国地质大学(武汉), 资源勘查工程专业, 长期从事矿产地质找矿工作, E-mail: 2248064556@qq.com.

<sup>①</sup>1/20万祁门幅、屯溪幅区域地质矿产调查报告[R]. 安徽省冶金地质局. 1971.

<sup>②</sup>支利庚, 左延龙, 汪隆武, 等. 1/5万七都幅、歙县幅、大阜幅、王阜幅区域地质调查报告[R]. 安徽省地矿局三三二地质队. 1996.

## 1 区域地质背景及矿区地质

工作区大地构造位置位于扬子准地台东南缘, 开化-淳安褶皱断裂带以北, 属钱塘台褶带(图1)。区域上地层呈北东向展布, 主要出露寒武系荷塘组、大陈岭组、杨柳岗组地层, 为一套海相硅质岩和碳酸盐岩建造<sup>[3]</sup>。区域上近东西向昌化-普陀大断裂、北

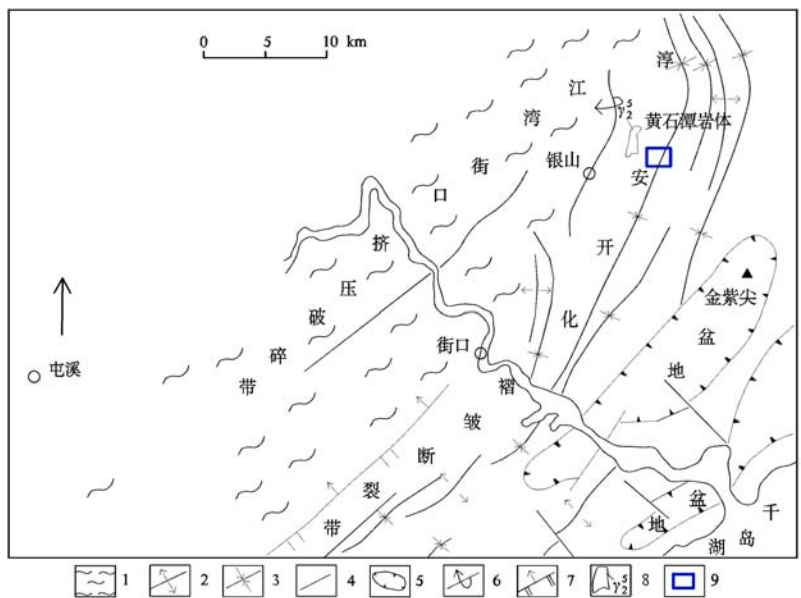


图1 陈家坞一带区域构造纲要图(据何国锦<sup>[12]</sup>等修编)

Fig.1 Regional structure outline map of the Chenjiawu area

1. 挤压破碎带; 2. 背斜轴线; 3. 向斜轴线; 4. 性质不明断层; 5. 侏罗纪火山盆地; 6. 倒转背斜; 7. 推测逆断层; 8. 燕山期花岗岩体; 9. 工作区位置

东向开化-淳安大断裂与下庄-石柱大断裂构成断裂区块,该断裂区内北北东向构造发育,以褶皱、压性断裂为主,次为北西向张性断裂。多次期造山运动对区内褶皱断层进行了改造叠加,表现为褶皱断裂具继承性,在原褶皱断裂的基础上再次褶曲及断裂,从而形成形态复杂的倒转背向斜及次一级短轴背斜<sup>[4-5]</sup>。区内燕山期岩浆活动活跃,与成矿有关的黄石潭岩体呈近南北向展布<sup>[6,7]</sup>,地表出露面约1.0 km<sup>2</sup>。黄石潭岩体为细粒-中细粒二长花岗岩,呈灰白色,中粒结构,局部边缘处为细粒结构,块状构造,主要矿物成分为石英、钾长石、斜长石、黑云母及少量黄铁矿组成。围岩蚀变以角岩化为主,局部硅化、绢云母化及矽卡岩化。

成矿区带上位于黄石潭钨锡铅锌银成矿远景区怀玉山-千岛湖 W-Sn-Cu-Pb-Zn-Ag-Au-Mo 成矿亚带<sup>[8-9]</sup>。远景区内褶皱、断裂构造较发育,以区域复向斜为基本构造格架,褶皱轴线为北北东向到近南北向,主要出露震旦系、寒武系地层,其中与寒武纪地层有关的矿床有铜、铅、钨、钼、萤石等,侵入岩体主要为黄石潭花岗岩体,在黄石潭岩体及西侧存在锡、锑、钨、钼等异常区及铅锌矿化,总体而言区内具有较大的找矿潜力<sup>[10-11]</sup>。围绕黄石潭花岗岩体分布众多金属矿床(点),如矿区南侧九里岗大型萤石矿床、西侧的银山中型银铅锌多金属矿床<sup>[12]</sup>及金竹坑口铅锌矿点、神塘湾铅锌矿点等。

工作区出露地层主要为寒武系下统荷塘组,其岩性为黑色中-薄层状硅质炭质泥岩,深灰色中厚层状白云质灰岩、碳酸盐化角岩、煤层、泥岩、粉砂岩等。根据岩性组合将区内荷塘组自下而上划分为五个岩性段。主要赋矿层位是荷塘组二段,赋矿岩石

为硅质粉砂岩、泥质灰岩、矽卡岩。地层构造受鲁村-麻车埠复向斜影响,表现为走向近南北的线型紧密褶皱,轴向近南北,倾向270~290°,倾角40~60°。区内断裂构造较发育,北北东向断裂构造是区内浅部铜、铅、钨等矿体的主要控矿构造,北东向、近东西向断裂多被后期英安玢岩、花岗细晶岩脉充填。工作区西侧出露小面积黄石潭花岗岩体,地表矿化点多分布于花岗岩体外接触带,分析认为区内铅锌矿化体与花岗岩体侵入紧密相关(图2)。

## 2 异常特征

本次工作以研究矿化体原生晕特征、确定找矿靶区为目的,在工作区内开展了1/2 000的岩石化探剖面测量,剖面布设大致垂直矿化体或含矿断裂带走向,剖面间距为180 m,采样间距以地质特征划分

图2 陈家坞铅锌矿工作区地质简图

Fig.2 Geological map of Chenjiawu lead-zinc mine working area

1. 荷塘组一段; 2. 荷塘组二段; 3. 荷塘组三段; 4. 荷塘组四段; 5. 荷塘组五段; 6. 花岗岩体;
7. 花岗细晶岩脉; 8. 英安玢岩脉; 9. 断层及产状; 10. 地层产状; 11. 勘探线及编号; 12. 矿体位置;
13. 施工探槽; 14. 施工坑道

岩性段来确定,一般间距为20 m;在含矿断裂带内视其岩性、蚀变、矿化等特征布设样点,宽度较小的断裂带以3个样品进行控制。以自然露头为采样对象,采集岩石化探样品1 803件,样品采集完成后包装送至具甲级资质的河南省岩石矿物测试中心进行Pb、Zn、Cu、Au、Ag、Bi、W、Mo等17项元素分析测试。

依据测试结果以1/1万的地质底图绘制了工作区多金属异常图,异常元素以Pb、Zn、Cu、Ag、W为主,伴有Mo、Bi、As(图3)。区内单元素异常组合复杂,中内外带发育,异常长轴与地层褶皱轴线近于一致,以褶皱轴线为中心,异常浓集中心多分布于向斜两翼荷塘组二段地层中。文中以褶皱轴线为界对区内异常特征进行分述。

褶皱轴线西侧以黄石潭花岗岩体为中心,各元素异常中心呈Mo-W-Bi-Pb-Zn-Ag-As水平分带。W、Mo、Bi、Pb、Ag、As元素异常分带浓集明显,异常长轴近南北向;Zn、Cu、Au元素异常以外带为主,异常形

态为长轴近南北的不规则椭圆状。Pb、Zn、Cu异常位于W、Mo高温元素异常外带,Pb异常面积0.341 km<sup>2</sup>,异常下限33.0×10<sup>-6</sup>,异常峰值673×10<sup>-6</sup>;Zn异常面积0.266 km<sup>2</sup>,下限101.6×10<sup>-6</sup>,异常峰值为2 021×10<sup>-6</sup>,Cu异常面积较小,呈椭圆点套合于Zn异常带内。地表对Pb、Zn异常分别布设探槽工程验证,揭露了一条锌矿体,伴有铜、银矿化,分析认为区内Zn异常的极大值显著指示出区内锌矿化体的地表露头。

褶皱轴线东侧元素异常以W、Mo、Bi、Cu、Pb、Zn为主,W、Pb、Zn元素异常分带、浓集中心明显,W异常长轴呈北北西向,异常峰值为88.7×10<sup>-6</sup>,Pb、Zn异常形态为不规则椭圆形,Pb异常面积0.235 km<sup>2</sup>,异常下限33.0×10<sup>-6</sup>,异常峰值753×10<sup>-6</sup>;Zn异常面积0.468 km<sup>2</sup>,下限101.6×10<sup>-6</sup>,异常峰值6 663×10<sup>-6</sup>;Cu、Bi、Mo异常以外带为主,Bi、Mo异常面积较小,位于Zn异常外带;Cu异常长轴呈北北向,异常面积0.179 km<sup>2</sup>,与Zn异常不完全套合,异常下限53.6×10<sup>-6</sup>,异常

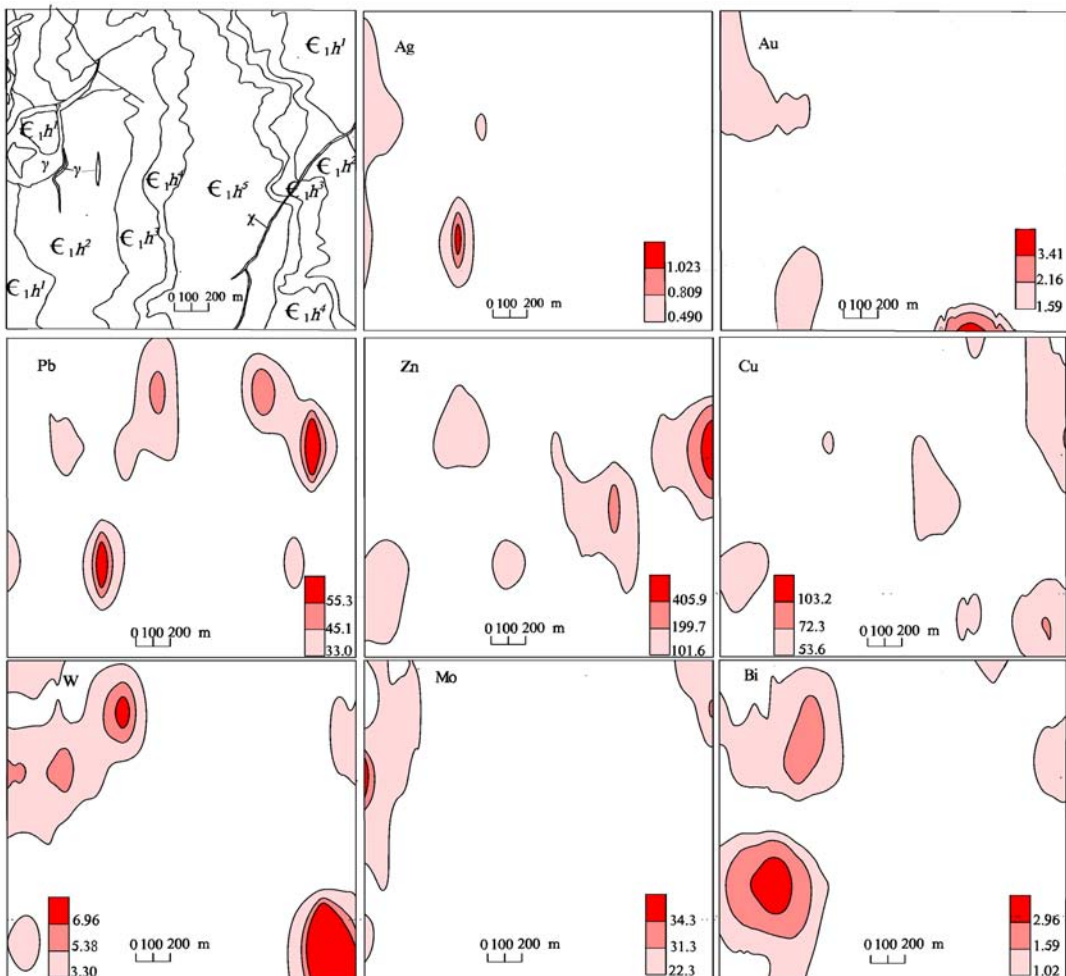


图3 陈家坞一带岩石剖面测量单元素异常剖析图

Fig.3 Rock profile measurement of single element anomaly map of Chenjiawu area



峰值 $213 \times 10^{-6}$ 。地表异常查证发现Pb、Zn、Cu异常带内及周边多发育花岗岩脉、英安玢岩脉,推断异常为岩体上侵时热液蚀变的结果。在Zn异常浓集中心矿化带内多见闪锌矿化,采样化学测试Zn品位4.31%,伴有铜矿化。

综合分析认为,工作区内岩石化探异常密集分布,水平分带、浓集中心明显,空间上与燕山期花岗岩体(脉)在一定范围内紧密相依,二者应处于同一矿化圈内,具有寻找铅锌矿的前景。Pb、Zn异常面积大、强度高,Zn异常极大值多与地表锌矿化体出露有关,为区内寻找锌矿体的有利地段(图4)。

### 3 矿体特征

#### 3.1 矿体特征

基于野外工作及现有地质成果的研究整理,现勘查阶段初步圈定 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 三条铅锌矿体。已知铅锌矿体呈NNE-NE方向展布,在走向上具明显膨缩、错断现象,褶皱层间破碎带内矿化体富集加厚,矿体层控和构造控矿特征较为显著。

$I_1$ 矿体位于工作区东北侧,由PD01揭露控制,以闪锌矿化为主、弱方铅矿化。矿体赋存于构造蚀变带内,产状 $280 \sim 290^\circ \angle 60 \sim 70^\circ$ ,蚀变带宽约10~

15 m,矿化分布不均匀,锌品位多在0.89%~9.65%,局部富集为13.02%,伴生铜品位0.38%~1.82%,矿石结构为细脉状、浸染状。围岩为粉砂质泥岩,围岩蚀变为硅化、褐铁矿化。

$I_2$ 矿体位于工作区东南侧,由PD02揭露控制,赋矿岩石为硅质粉砂质,矿体呈似层状产出,矿体产状 $280 \sim 291^\circ \angle 48 \sim 51^\circ$ ,厚约0.8~2 m,锌品位1.11~1.74%,铅品位0.17%,

矿石结构为细脉状。围岩为泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,围岩蚀变为硅化、绿泥石化。

$I_3$ 矿体位于工作区西侧,由TC01、TC02揭露控制,以闪锌矿化为主,赋矿岩石为硅质粉砂岩、泥质灰岩,矿体呈似层状产状,矿体产状 $275 \sim 286^\circ \angle 8 \sim 19^\circ$ ,厚约1~2 m,锌品位1.35%~2.27%,铜品位0.12%~0.15%、银品位2.2~13.4 g/t,矿石结构为细脉状、浸染状。围岩为泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,围岩蚀变为硅化、弱褐铁矿化。

#### 3.2 矿石特征

据野外观察与室内镜下鉴定,工作区内矿石矿物主要有闪锌矿、方铅矿及少量黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等;脉石矿物为方解石、石英、萤石、绿泥石、绿帘石等。矿石结构主要为细脉状及网脉状构造,其

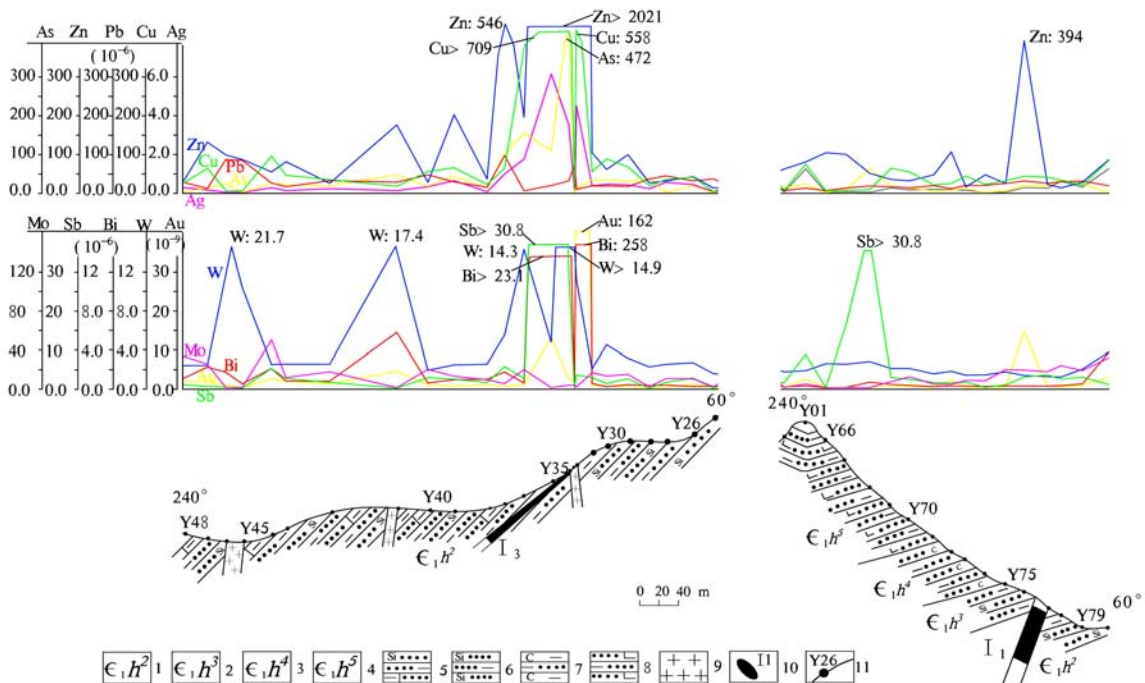


图4 陈家坞00线地质地球化学综合剖面图

Fig.4 The geological and geochemical integrated section of the Chenjiawu 00 line

1. 荷塘组二段; 2. 荷塘组三段; 3. 荷塘组四段; 4. 荷塘组五段; 5. 硅质粉砂岩夹泥质灰岩; 6. 硅质粉砂岩夹泥质粉砂岩;
7. 泥质粉砂岩夹页岩; 8. 钙质粉砂岩夹泥质灰岩; 9. 花岗岩; 10. 铅锌矿体; 11. 岩石剖面及岩石样点编号

次为浸染状构造。围岩蚀变主要为硅化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化及弱褐铁矿化。

闪锌矿呈棕灰色,他形粒状集合体,主要充填于裂纹中,少部分呈斑点状分布;方铅矿呈他形粒状集合体,与闪锌矿共伴生,具溶蚀交代闪锌矿现象;黄铜矿呈他形粒状,部分呈乳浊状分布于闪锌矿内部,部分与闪锌矿呈共边结构接触,多分布于闪锌矿边缘呈镶边结构,黄铜矿小集合体斑点大小一般 $\leq 0.3$  mm。具镶边结构的黄铜矿形成较晚。黄铁矿呈半自形-他形粒状的小集合体,局部见个别斑点,粒径 $0.4 \sim 4.5$  mm,被闪锌矿溶蚀交代边部形成港湾状。磁黄铁矿呈半自形粒状浸染状分布于霏细斑岩脉内,局部磁黄铁矿中有霏细状黄铜矿。

根据含矿岩性不同及镜下矿石矿物充填及交代关系,认为区内金属矿物生成顺序及共生组合为:黄铁矿-闪锌矿-黄铜矿-方铅矿;磁黄铁矿-黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿(图5)。

## 4 成矿物质来源及找矿前景

陈家坞一带铅锌矿为现阶段开展的商业合作新发现,勘查程度及研究程度较低,缺乏全面可靠的资料对矿床成因进行正确认识。矿体受构造、地层控制,成矿特征与邻区银山银铅锌多金属矿床相似。据王成彬<sup>[13]</sup>、胡逸洲<sup>[14]</sup>、何国锦<sup>[15]</sup>等人对银山银铅锌多金属矿成矿机制的研究成果,对比分析认为区内铅锌矿应属早期热水沉积-晚期岩浆热液的叠生型矿床。

工作区与银山银铅锌多金属矿床同处钦杭成矿

带北东段,寒武纪时期,浙西北地区处于裂陷槽环境,其沉积岩相为一套海相硅质岩和碳酸盐岩建造,与银山银铅锌多金属矿床所处大地构造环境一致。马金-乌镇深断裂为该区的热水喷流沉积提供了通道和热液,在特定的荷塘组地层中形成了分布范围广泛、层位稳定的钼铅锌多金属矿化体<sup>[16-17]</sup>。热水沉积期成矿元素的迁移、富集为后期铅锌矿的形成构建了基础。区内褶皱、断裂发育,次级层间断裂及北东向断裂与成矿关系密切,为主要导矿、控矿构造,为成矿提供了有利的空间。荷塘组地层为浙西北地区一个重要成矿层位<sup>[18-19]</sup>,区内已发现铅锌矿体主要赋存于荷塘组二段硅质粉砂岩、泥质灰岩、砂卡岩内。矿体不规则,多呈层状、似层状分布,锌含量大于铅含量,总体上具有热水沉积成矿层控、时控的特征<sup>[20-21]</sup>。陈家坞铅锌矿床与银山银铅锌多金属矿床同处燕山期黄石潭岩体外围,铅锌矿化多与燕山期花岗质岩浆活动有关。区内岩浆热液改造主要为黄石潭岩体的侵入,含矿热液沿构造破碎带上侵,叠生在热水沉积时期形成的多金属矿化体之上,为成矿提供了丰富的岩浆热液。

工作区内1/2 000岩石化探剖面成果显示以Pb、Zn、Cu为主成矿元素的综合异常及单元素异常具异常面积大、浓集中心及水平分带明显的特征,空间上与燕山期花岗岩体(脉)在一定范围内紧密相依,地表铅锌矿体与异常相吻合。结合1/2 000地球化学异常特征、矿化体情况及蚀变特征,认为该工作区的找矿有利地段如下:

(1)工作区东北侧倒坞一带 $I_1$ 矿段,矿体由PD01揭露,具显著的构造控矿特征。矿(化)体多出露于NNE-NE向断层破碎带及旁侧荷塘组二段地层中,以闪锌矿化为主,矿化明显优于地表出露矿化体,矿化程度、矿体厚度由地表至中浅部逐渐增强、增厚。围岩蚀变以硅化、砂卡岩化、褐铁矿化为主,推测 $I_1$ 矿段在走向及倾向上具有较好的找矿空间。今后亦应加强在区内断层构造与荷塘组二段地层交汇部位的找矿工作。

(2)工作区东南侧车曹坞一带 $I_2$ 矿段,矿体由PD02揭露,目前已探获厚约 $0.8 \sim 2$  m、锌品位 $1.11\% \sim 1.74\%$ 、铅品位 $0.17\%$ 的似层状矿体,围岩蚀变为硅化、绿泥石化,推测该矿体沿走向往NNE向可延伸至1处1/2 000岩石化探综合异常(该综合异常位于工作区东侧、以W、Mo、Bi、Pb、Zn为主)区内,该

图5 成矿期与成矿阶段划分

Fig.5 Metallogenic period and stages

综合异常区内Pb、Zn异常分带明显、浓集中心发育,Pb异常面积 $0.235\text{ km}^2$ ,异常下限 $33.0\times 10^{-6}$ ,异常峰值 $753\times 10^{-6}$ ;Zn异常面积 $0.468\text{ km}^2$ ,下限 $101.6\times 10^{-6}$ ,异常峰值 $6\,663\times 10^{-6}$ 。本次工作未对该异常区进行工程验证,地表异常查证时在Zn异常浓集中心发现闪锌矿矿化带,推测该异常区具有进一步的找矿前景。

(3)工作区西侧陈家坞一带I<sub>3</sub>矿段,矿体由TC01、TC02揭露,受控于荷塘组二段硅质粉砂岩、泥质灰岩,矿体呈似层状产出,产状 $275\sim 286^\circ\angle 8\sim 19^\circ$ ,具明显的层控特征,以闪锌矿为主,伴生Ag、Cu。矿体与1处1/2 000岩石化探综合异常(该综合异常位于工作区西北侧,以W、Mo、Bi、Zn、Pb、Ag、Cu为主)套合较好,且处于Zn异常中心。化探异常区域与异常极值基本落于黄石潭岩体与荷塘组二段地层接触带附近及北东向断裂破碎带内,显示空间上矿(化)体、化探异常、花岗岩体在一定范围内紧密相连。推测该化探异常中深部具有较好的找矿前景。

## 5 结论

通过本次系统的地质工程,在综合考虑物化探异常特征及组合规律的基础上,通过探矿工程验证取得了陈家坞一带铅锌矿找矿突破,证明了本次工作的有效性,可为区内开展同类型地质找矿提供参考。在综合研究陈家坞铅锌矿地质特征及找矿前景过程中,得出以下结论:

(1)黄石潭岩体在区内为半隐伏岩体,岩浆热液活动使区内成矿元素再次活化、富集,对原热水沉积时期铅锌矿化体进行叠加改造,在温度、压力适当的环境下,在构造裂隙、褶曲部位富集成矿。

(2)岩石化探原生晕异常成群成带分布,成矿元素Pb、Zn、Cu、Ag面积较大,元素分带显著,地表矿化体与元素异常关系密切,Zn元素异常极大值很大程度上指示区内锌矿体的地表露头。

(3)区内已知矿体层控、构造控矿特征明显,与成矿有关的热液蚀变主要为硅化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化。岩体接触带上局部可见石榴子石、透辉石等矽卡岩矿物。

(4)表生地质作用下铅锌矿化体在地表多形成铁锰帽、氧化锌、孔雀石等金属氧化物,为区内寻找铅锌矿的间接标志。

### 参考文献:

[1] 朱安庆,张永山,陆祖达,等.浙江省金属非金属矿产成

矿系列和成矿区带研究[M].北京:地质出版社,2009,1-433.

[2] 张国防.浙江省淳安县威坪镇银山矿区银铅锌多金属矿地球化学特征及其找矿意义[J].地球,2013,(02):21-22.

[3] 浙江省地质矿产局.浙江省区域地质志[M].北京:地质出版社,1985:1-688.

[4] 余心起,张达,汪隆武,等.浙皖赣相邻区加里东期构造变形特征[J].地质通报,2006,25(6):676-684.

[5] 陈忠大,吴小勇.浙西的加里东运动[J].浙江地质,1996,12(2):28-34.

[6] 王科强.浙西地区中生代花岗岩类时空演化特征及其成矿作用[D].中国地质大学(北京),2015.

[7] 厉子龙,汪慧慧,蔡雄祥,等.浙西北燕山期花岗岩岩浆作用与银铅锌矿床特征及成矿机理[J].矿床地质,2010,29(增刊):229-230.

[8] 刘一,骆学全,张雪辉,等.钦杭Cu-Au-Pb-Zn成矿带(东段)主要地质成矿特征及潜力分析[J].地质学报,2016,90(7):1551-1572.

[9] 徐磊.钦-杭结合带(东段)多期次构造变形与成矿作用关系[D].中国海洋大学,2012.

[10] 王成彬,陈建国,张珍玉,等.浙西北热液型铅锌矿银多金属矿成矿特征与定量预测[J].地质学刊,2013,37(3),436-443.

[11] 徐磊,李三忠,刘鑫,等.华南钦杭结合带东段成矿特征与构造背景[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(5),57-66.

[12] 何国锦,杨晓春,吴光明,等.浙江西北银山银铅锌多金属矿床矿石矿物特征及成矿期次初步研究[J].地球学报,2011,32(3):304-312.

[13] 王成彬,陈建国,肖凡,等.浙西北银山银多金属矿床地质特征及成因[J].地质与勘探,2013,49(4):634-646.

[14] 胡逸洲,厉子龙,毛建仁,等.浙西北淳安银山地区银铅锌矿床矿石结构构造、矿石成分及成矿机制[J].岩石学报,2013,29(10):3623-3636.

[15] 何国锦,吴光明,张国防,等.浙江淳安银山银铅锌多金属矿床地质特征和成因分析[J].中国水运,2011,11(52):211-213.

[16] 刘美善.浙西北主要矿床类型及找矿方向[J].中国水运,2011,11(52):214-216.

[17] 贾宝剑,陈志国,金宠,等.钦杭成矿带浙江段热水沉积成矿系列组合初步划分[J].地质论评,2015,61(增刊):973-974.

[18] 肖荣阁,张汉城,陈卉泉,等.热水沉积岩及矿物岩石标志[J].地质前缘,2001,8(4):379-385.

[19] 周永章,何俊国,杨志军,等.华南热水沉积硅质岩建造及其成矿效应[J].地质前缘,2004,11(2):373-377.

[20] 钱建民,刘崇民,杜江东,等.浙江省下寒武统荷塘组黑色页岩系地球化学特征[J].物探与化探,2009,33(04):395-399.

[21] 吕惠进,王建.浙西寒武系底部黑色岩系含矿性和有用组分的赋存状态[J].矿床地质,2005,24(5):567-574.